

Teste ergoespirométrico aplicado à prática do exercício físico: um estudo de revisão

Ergospirometric test applied to exercise practice: a review study

Fabiano Gomes de Souza¹; Paulo J. D. C. Jaime²; Raphael M. da Cunha³

¹Especialista em Fisiologia do Exercício – CEAFI-Go; Graduado em Ed. Física. E-mail: fabiano_careca@hotmail.com

²Graduado em Educação Física – ESEFFEGO/UEG; Membro do Laboratório de Fisiologia do Exercício-LAFEX/ESEFFEGO.

³Doutorando em Ciências Médicas - Endocrinologia – UFRGS; Mestre em Ciências da Saúde – UFG; Especialista em Fisiologia do Exercício – Master-DF; Graduado em Ed. Física – ESEFFEGO/UEG. Coordenador do LAFEX-ESEFFEGO-UEG.

Resumo

A Ergoespirometria é um teste de esforço, onde se analisa as trocas gasosas e a variação da frequência cardíaca, com o incremento de intensidade. Nesse teste, é possível identificar dois marcadores fisiológicos, o limiar ventilatório e o ponto de compensação respiratória, marcadores estes de grande importância para identificação de intensidade e velocidade de treinamento. O presente trabalho tem como finalidade, a análise de um teste de esforço cardiopulmonar, para identificação desses dois marcadores, o limiar ventilatório e o ponto de compensação respiratória, para treinamento individualizado. Estudo de revisão narrativa, a qual se buscou artigos científicos, consensos e diretrizes publicadas em bases de dados da internet como a plataforma Lilacs e Bireme. O teste apresenta respostas importantes no que tange a prescrição do exercício físico. Com a identificação dos marcadores fisiológicos é possível identificar e quantificar a intensidade de treinamento para alcance mais pontual do objetivo almejado.

Palavras-chave: Teste de Esforço. Limiar Anaeróbio. Exercício Físico. Ergoespirometria.

Introdução

A Ergoespirometria é um teste ergométrico, onde se analisa o sistema cardiopulmonar através das variações fisiológicas ou não, ocorridas na frequência cardíaca, e através da análise das trocas gasosas, em equipamento específico e devidamente calibrado¹. Esse teste é um dos métodos de medida direta da produção

Abstract

Ergospirometry is a stress test, which analyzes the gas exchange and heart rate variation, with increasing intensity. In this test, it is possible to identify two physiological markers, ventilatory threshold and respiratory compensation point, these markers of great importance to identify strength and speed training. This study aimed at the analysis of a cardiopulmonary stress test for identification of these markers, the ventilatory threshold and respiratory compensation point for individualized training. This is a Narrative review, based in papers and guidelines of the database like Bireme and Lilacs. This test presents important responses to physical exercise prescription. With the identification of physiological markers, it is possible to identify and quantify the intensity of training to achieve the desired objective.

Keywords: Stress Test. Anaerobic Threshold. Physical Exercise. Ergospirometry.

de dióxido de carbono (VCO_2) e do consumo de oxigênio (VO_2) que se tornou mais eficaz nos últimos anos².

Na prática, a grande utilidade do teste ergoespirométrico é na determinação da capacidade funcional ou potência aeróbia, pela obtenção dos dois índices de limitação funcional, mais empregados, que são o consumo máximo de oxigênio e o limiar



anaeróbio ventilatório. Portanto, pode e deve ser utilizado para avaliação de pessoas sedentárias, ativas, cardiopatas, pneumopatas, etc. Além de fornecer informações dos limiares de treinamento³.

Dessa forma, é objetivo do presente estudo levantar informações sobre o teste ergoespiométrico e seus dados relativos ao exercício físico, por meio de uma revisão narrativa da literatura.

1. ERGOESPIROMETRIA: VISÃO GERAL

A grande vantagem da Ergoespirometria sobre os testes de campo é a possibilidade de monitoramento das respostas fisiológicas, o que proporciona maior segurança e precisão nos resultados⁴.

O teste apresenta informações valiosas que são utilizadas no treinamento, como consumo máximo de oxigênio (capacidade funcional) e os limiares ventilatórios, que são parâmetros de análise de condicionamento e evolução. O limiar anaeróbio é um índice que reflete satisfatoriamente a aptidão física, pode ser empregado tanto na prática clínica quanto na avaliação e treinamento de atletas. Este limiar, caracterizado exclusivamente em função das trocas respiratórias recebe a denominação de limiar ventilatório, pode ser definido como a intensidade de esforço, ou o consumo de oxigênio, acima da qual a produção de ácido láctico supera sua própria remoção (tamponamento), provocando hiperventilação⁵.

Segundo Nogueira⁶, o limiar anaeróbio (LAn) foi inicialmente proposto como índice da tolerância ao exercício por cardiopatas. Atualmente, a determinação do LAn é de primordial importância nas ciências do exercício porque é um indicador do condicionamento em diversos grupos de indivíduos.

O $VO_{\text{máx}}^2$ é o índice fisiológico que melhor representa a potência aeróbica máxima, ou seja, é uma

medida da quantidade máxima de energia que pode ser produzida pelo metabolismo aeróbio em uma determinada unidade de tempo. É importante diferenciar a potência da capacidade aeróbica, pois esta última indica teoricamente a quantidade total de energia que pode ser fornecida pelo metabolismo aeróbico, e pode ser bem estimada pelos índices associados a resposta do lactato durante o exercício submáximo⁷. Embora o $VO_{\text{máx}}^2$ seja um parâmetro fisiológico importante na determinação da capacidade funcional do indivíduo, neste artigo, o foco será dado aos parâmetros limiares para a prescrição do treinamento individualizado, a partir da ergoespirometria.

2. OS LIMIARES VENTILATÓRIOS E AS RESPOSTAS FISIOLÓGICAS AO TESTE

O limiar anaeróbio (LAn) pode ser definido como sendo o indicador do nível de trabalho ou consumo de oxigênio mais elevado, do qual a produção de energia aeróbica é suplementada por metabolismo anaeróbio. Durante este tipo de metabolismo energético, ocorre um aumento na produção de ácido láctico que, quando dissociado, levará a um aumento dos íons H^+ sanguíneo⁸. Assim, Simões *et al*⁹ dizem, que o LAn reflete uma intensidade de exercício alta, o que leva a um aumento desproporcional na glicemia, no lactato sanguíneo (lac) e na ventilação pulmonar (VE), em paralelo a uma diminuição no pH.

Existe um procedimento para determinação do LAn, porém, com valores fixos e de forma invasiva, através da análise dos valores do lactato plasmático, esse método de classificação identifica o chamado Limiar de Lactato - LL¹⁰. Este é um importante marcador fisiológico intimamente associado ao desempenho de resistência aeróbia, ou seja, quanto





mais elevado for o LL, melhor será o desempenho aeróbio¹¹ Para Simões *et al*⁹ esse método tem sido considerado o padrão ouro para avaliar a capacidade aeróbia.

Segundo Wilmore, Costill e Kenney¹¹, o limiar de lactato marca a aceleração da taxa de acúmulo sustentado de lactato na corrente sanguínea. Este parâmetro aeróbio pode ser obtido diretamente (mMol/L ou mEq/L), ou estimado não-invasivamente ($\dot{V}O_{2L}$) e expresso em relação ao nível de *stress* metabólico ($\dot{V}O_{2L}$ em mL/min ou L/min ou em % do $\dot{V}O_{2\text{máx}}$ previsto).

O Limiar Anaeróbio pode ser determinado na ergoespirometria analisando o consumo de oxigênio ($\dot{V}O_2$), e em um teste de esforço, através da dosagem sérica de lactato, porém, ele também pode ser determinado por métodos menos invasivos, como por meio da ventilação pulmonar (VE) e produção de dióxido de carbono ($\dot{V}CO_2$), pois o acúmulo de lactato é acompanhado por hiperventilação pulmonar².

O LAn, quando caracterizado exclusivamente em função das trocas respiratórias recebe a denominação de “limiar ventilatório” (LV) e, assim é definido como a intensidade de esforço acima da qual a produção de ácido láctico supera a remoção¹².

Para Pires, Silva e Oliveira¹³, o LV marca a mudança no metabolismo energético, é reconhecido através de dois pontos de transição metabólica: Limiar Ventilatório 1 - LV1 e Limiar Ventilatório 2 - LV2. Para Lopes², essa transição pode ser identificada analisando a ventilação ou equivalente ventilatório (VE), equivalente ventilatório do O_2 ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$) e o equivalente ventilatório de CO_2 ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$). Tanto o LL quanto o LAn são estimativas de um dos Limiares Ventilatórios.

2.1.1. LIMIAIR VENTILATÓRIO 1 (LV1).

Segundo Lopes², o LV1 pode ser identificado pelo aumento do $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ sem aumento marcado de $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$. Durante o teste, em condições totalmente aeróbias, mas com aumento sucessivo de intensidade, ocorre um aumento do H^+ no tecido muscular, devido ao aumento da quebra de ATP e da insuficiência do tamponamento do H^+ pela mitocôndria. Assim, há uma maior ação da enzima lactato desidrogenase que, ao tamponar o H^+ forma o lactato a partir do piruvato¹⁴. Se a intensidade for aumentada, o íon H^+ vai ser tamponado no sangue, através do bicarbonato (HCO_3^-), essa ação do bicarbonato leva a uma produção de H_2O e CO_2 , tanto intramuscular, quanto sanguíneo⁸. Esse CO_2 produzido pelo tamponamento do HCO_3^- , explica Rondon *et al*¹⁵, é denominado CO_2 não-metabólico, que, ao se unir ao CO_2 derivado do Ciclo de Krebs, aumenta o volume total de CO_2 produzido. Esse aumento abrupto da concentração de CO_2 em relação ao consumo de O_2 é denominado de LV1.

2.2. LIMIAIR VENTILATÓRIO 2 (LV2).

O LV2 é caracterizado pela incapacidade do sistema respiratório em tamponar o H^+ , como consequência a VE aumenta desproporcionalmente a eliminação de CO_2 , o que eleva o $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$ ¹⁶. Devido ao aumento da ventilação, o LV2 também é denominado Ponto de Compensação Respiratória – PCR¹⁷.

Se, durante o teste, o LV1 for atingido e a intensidade continuar a aumentar, o sistema anaeróbio será recrutado com maior intensidade, o que levará a um aumento da acidez plasmática, devido à falência do sistema de tamponamento do H^+ . Essa variação na acidez ativar os barorreceptores periféricos, carótidos e aórticos, bem como o barorreceptor central, que





estimula o centro respiratório ao aumentar a ventilação pulmonar para tentar eliminar o CO_2 . Esse ponto marca então uma hiperventilação, denominada LV2 ou PCR².

3. A ERGOESPIROMETRIA E O TREINAMENTO.

A ergoespirometria computadorizada se tornou uma ferramenta muito importante para o desenvolvimento de um programa de condicionamento físico, já que permite avaliar, de maneira precisa, a capacidade cardiorrespiratória e metabólica, a partir da medida direta do consumo máximo de oxigênio e da determinação dos limiares ventilatórios, limiar anaeróbio e ponto de compensação respiratório, uma vez que esses limiares fornecem, com relativa precisão e de forma não evasiva, as intensidades de exercício onde predominam o metabolismo aeróbio e anaeróbio. Dessa forma, possibilita uma prescrição adequada e individualizada de treinamento e de exercício físico¹⁵.

A utilização do teste ergoespirométrico está intimamente relacionada com condicionamento físico, mas também, com a performance, pois a capacidade do indivíduo de realizar exercícios de média e longa duração depende principalmente do metabolismo aeróbio¹². Estabelecer os níveis de potência aeróbia e anaeróbia é fundamental para orientação tanto do volume quanto da intensidade das atividades¹⁸.

Esse teste é considerado o melhor para a avaliação fisiológica de atletas de modalidades variadas, devido à quantidade de informações e a facilidade de execução. Além do mais, o teste oferece o diagnóstico da necessidade energética específica nas diferentes atividades e o diagnóstico das capacidades funcionais individuais¹⁹.

4. LAUDO ERGOESPIROMÉTRICO E A PRESCRIÇÃO DE EXERCÍCIO

O laudo ergoespirométrico é dado pela identificação dos limiares ventilatórios, com base nas variações da ventilação pulmonar (VE) com relação ao consumo de oxigênio (VO_2) e a produção de dióxido de carbono (VCO_2). Outro dado analisado, que também tem grande importância para determinação dos limiares, é a pressão expirada final de oxigênio (PetO_2) e a pressão expirada final de dióxido de carbono (PetCO_2), sendo importante a análise do equivalente ventilatório de oxigênio (VE/VO_2), o PetO_2 e a razão de troca respiratória (VCO_2/VO_2), sendo que esse limiar ocorre normalmente entre 45% e 60% do VO_2 , pico em indivíduos assintomáticos, podendo chegar até 85% do VO_2 , pico em indivíduos ativos ou atletas. O LAn é identificado no momento que ocorre mais de uma variação em determinados índices ventilatórios: perda da linearidade entre a produção de VCO_2 e o consumo de VO_2 (VCO_2/VO_2), perda da linearidade entre VE e o VO_2 (VE/VO_2) e menor valor de PetO_2 acompanhado de um aumento²⁰.

O PCR é identificado analisando o equivalente ventilatório de dióxido de carbono (VE/VCO_2) e a pressão expirada final de dióxido de carbono (PetCO_2), sendo identificado o PCR no ponto onde perde-se a linearidade da relação de VE e VCO_2 e/ou o maior valor de PetCO_2 antes de uma queda abrupta, explicam esses autores.

Lourenço¹⁹ expõe que com a obtenção do LV1 e do LV2 (PCR), é possível identificar três zonas de intensidade de trabalho ou treinamento, sendo: Zona 1, baixa intensidade (abaixo do LV1); Zona 2, média intensidade (entre LV1 e LV2); e Zona 3, alta intensidade (acima do LV2). Esse autor também apresenta o resultado de várias pesquisas mostrando



que ocorrem adaptações fisiológicas diferentes, treinando em cada uma das zonas de intensidades citadas. Ver Figura 1.

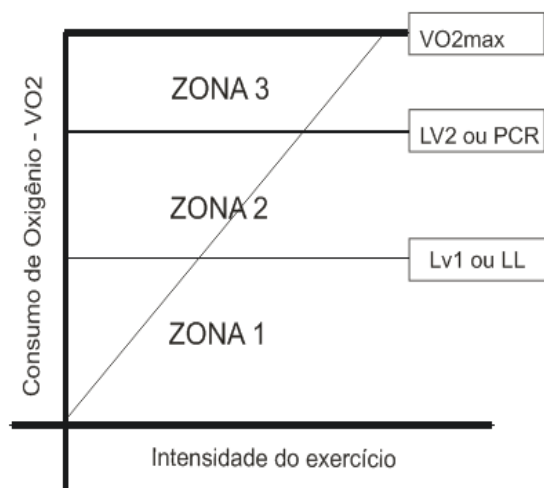


Figura 1 – Variáveis fisiológicas do teste ergoespirométrico e as zonas para prescrição do treinamento.

Conclusões

Treinamentos de alta intensidade conseguem aumentar a capacidade de resistência aeróbia, mesmo em atletas de elite. O corpo consegue se adaptar aos mais variados exercícios, quando oferecido o estímulo adequado e intensidade previamente estudada e definida para atingir um objetivo específico. Assim, para uma maior eficiência em um programa de treinamento, é de fundamental importância a utilização de princípios científicos²¹. Os métodos de treinamento a serem utilizados não serão discutidos nesse trabalho, porém, possuem importante relevância na otimização dos resultados, o que oferece oportunidade para a discussão em uma futura pesquisa.

Neto *et al*³ e Barbanti *et al*²¹, evidenciam que o programa de treinamento deve oferecer períodos de intensidade semelhante às encontradas nas provas realizadas pelo praticante da modalidade, por exemplo,

se um atleta tem como especialidade provas rápidas, como 50, 100 ou 200 metros, esse atleta deve treinar na zona 3 de intensidade, respeitando a relação intensidade, volume e tempo de recuperação. Mas, se o atleta é um jogador de futebol, por exemplo, ele deve treinar nas três zonas, já que o futebol, como a maioria dos esportes, tem uma natureza mista, variando entre períodos aeróbios e anaeróbios. O atleta deve sempre ser estimulado, de uma maneira que a intensidade fique próxima à situação encontrada no esporte ou em prova de sua especialidade. Na ergoespirometria é possível encontrar e mensurar os níveis de intensidade de cada indivíduo submetido ao teste, daí sua importância para os treinadores prescreverem o treinamento, ou de orientação para exercícios físicos.

Em um teste incremental com análise de trocas gasosas, é possível identificar as velocidades correspondentes ao LV1 e ao LV2 (PCR), fator de muita importância para determinação da intensidade de treino e para a otimização dos resultados. Estudos mostram que treinos em velocidades acima da velocidade que ocorre o PCR (vPCR), melhoram tanto o desempenho anaeróbio, como também aumentam a vPCR e a velocidade que ocorre o VO_{2max} (v VO_{2max}). Outros estudos identificam que intensidades acima de v VO_{2max} melhoram a potência aeróbia²².

Treinos realizados na Zona 2 de intensidade, aumentam o VO_{2max} e o VO_{2pico} , a capacidade cardíaca, a bomba de Na^+/K^+ , o desempenho, a oxidação de ácidos graxos, os transportadores de Monocarboxilato (MCT1 e MCT4), o percentual de fibra tipo I, a duração e distância percorrida na Máxima Fase Estável de Lactato (MLSS), a resistência dos músculos inspiratórios e a capacidade de tamponamento muscular. Treinamentos realizados na Zona 3 indicam aumento no VO_{2max} , de todos os



limiares (LV e PCR) e suas velocidades respectivas, das capacidades de tamponamento e oxidativa, e da sensibilidade ao Cálcio¹⁹.

Independente do indivíduo, a identificação das zonas de treinamento por intermédio das variáveis fisiológicas do teste, possibilitará uma prescrição individualizada e mais segura ao praticante, seja ele um atleta, ou um cardiopata. Em suma, as zonas de treinamento serão as mesmas nos 2 indivíduos, o que mudará nos mesmos, são os valores de onde cada zona se encontrará.

Referências

1. Serra S. Considerações sobre ergoespirometria. Arq Bras Cardiol. 1997; 68(4): 301-4
2. Lopes MCA. Comparação do consumo máximo de oxigênio de universitárias obtido pela ergoespirometria na esteira e no cicloergômetro. Movimentum - Revista Digital de Educação Física [periódico na internet]. 2007 Fev/Jul [acesso em 29 Jun 2012]; 2(1): [aproximadamente 11 p.]. Disponível em: http://www.unilestemg.br/movimentum/Artigos_V2N1_em_pdf/movimentum_v2_n1_lopes_mariacristina_pocraro.pdf.
3. Neto TLB, Tebexreni AS, Tambeiro VL. Aplicações práticas da ergoespirometria no atleta. UNIFESP/EPM. 2001. Disponível em: <http://www.fac.org.ar/scvc/llave/exercise/barros2/barrosp.htm>. Acesso em 29 Jun 2012.
4. Andrade JP (Coord). III Diretrizes da Sociedade Brasileira de Cardiologia Sobre Teste Ergométrico. Realização: Departamento de Ergometria, Exercício e Reabilitação Cardiovascular da Sociedade Brasileira de Cardiologia (DERC/SBC). 2010
5. Cohen M. Guia de medicina do esporte. Barueri (SP): Manole; 2008.
6. Nogueira FS. Precisão da medida do limiar anaeróbio por meio do calorímetro portátil. Arq Bras Cardiol 2010; 95(3): 354-63.
7. Denadai BS, Greco CC. Prescrição do treinamento aeróbico: teoria e prática. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2005.
8. Pereira DAG, Vieira DSR, Samora GAR, Lopes FL, Alencar MCN, Lage SM, et al. Reprodutibilidade da determinação do limiar anaeróbico em pacientes com insuficiência cardíaca. Arq Bras Cardiol. 2010; 94(6): 771-8.
9. Simões HG, Moreira SR, Moffatt RJ, Campbell CSG. Métodos para identificar o limiar anaeróbico em indivíduos com Diabetes tipo 2 e em indivíduos não-diabéticos. Arq Bras Cardiol. 2010; 94(1): 71-8.
10. Benetti M, Santos RT, Carvalho T. Cinética de lactato em diferentes intensidades de exercícios e concentrações de oxigênio. Rev Bras Med Esporte. 2000; 6(2): 50-6.
11. Wilmore JH, Costill DL, Kenney WL. Fisiologia do esporte e do exercício. Barueri (SP): Manole; 2010
12. Junior ECPL, Souza FB, Magini M, Martins RABL. Estudo comparativo do consumo de oxigênio e limiar anaeróbico em um teste de esforço progressivo entre atletas profissionais de futebol e futsal. Rev Bras Med Esporte. 2006; 12(6):323-6.
13. Pires FO, Silva AEL, Oliveira FR. Diferenças entre variáveis de identificação dos limiares ventilatórios. Rev Bra Cineantropom Desempenho Hum. 2005; 7(2):20-8.
14. Lourenço TF, Tessutti LS, Martins LEB, Brenzikofer R, Macedo DV. Interpretação metabólica dos parâmetros ventilatórios obtidos durante um teste de esforço máximo e sua aplicabilidade no esporte. Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum. 2007; 9(3):303-10.
15. Rondon MUPB, Forjaz CLM, Nunes N, Amaral SL, Barreto ACP, Negrão CE. Comparação entre a prescrição de intensidade de treinamento físico baseada na avaliação ergométrica convencional e na ergoespirométrica. Arq Bras Cardiol. 1998; 70(3): 159-66.
16. Neder JA. Ergoespirometria na prática pneumológica. Boletim Pneumologia Paulista. Ano 18, nº 24, 2004. Tema em Destaque: Ergoespirometria na prática pneumológica Disponível em:





http://www.sppt.org.br/boletins/Boletim_Junho_p_web.pdf. Acesso em 29 Jun 2012.

17. Filho PCN, Pompeu FAMS, Silva APRS. A acurácia da determinação do VO₂max e do limiar anaeróbio. Rev Bras Med Esporte. 2005; 11(3): 167-71.

18. Filho NO, Oliveira HB. Níveis de lactato sanguíneo em testes máximos de potência aeróbia e anaeróbia. Educação Física em Revista [periódico na internet]. 2007 Nov/Dez [acesso em 29 Jun 2012]; 1(1): [aproximadamente 13 p.]. Disponível em: <http://portalrevistas.ucb.br/index.php/efr/article/viewFile/231/65>.

19. Lourenço TF. Correlação entre o ponto de compensação respiratória e desempenho em corredores de rua. [dissertação]. Campinas (SP): Universidade Estadual de Campinas; 2009.

20. Negrão CE, Baretto ACP. Cardiologia do exercício: do atleta ao cardiopata. 3 ed. Barueri (SP): Manole; 2010.

21. Barbanti VJ, Tricoli V, Ugrinowitsch C. Relevância do conhecimento científico na prática do treinamento físico. Rev Paul Educ Fís. São Paulo. 2004; 18(5): 101-9.

22. Barbosa FP, Cabral ST, Neto ANM, Mayolino RB, Knackfuss MI, Fernandes PR, et al. Comparação de métodos para a determinação da intensidade do treinamento aeróbico para indivíduos jovens. Fit Perf J. 2007; 6(6): 367-70.

